

Systemauslegung und Optimierungspotentiale hybrider Antriebe in Fahrzeugen des SPNV

Der vorliegende Artikel zeigt auf, welche Herausforderungen durch den Übergang von derzeit dieselbetriebenen Fahrzeugen auf neuartige hybride Antriebskonzepte entstehen. Für den Fall von batterie-elektrischen Multiple Units mit Oberleitungsversorgung (OL-BEMU) werden die Unterschiede in den am DLR verwendeten Auslegungsmethoden gegenüber konventionellen Fahrzeugen diskutiert und Potentiale zur Steigerung der Reichweite diskutiert.

Das DLR bietet durch seine Verkehrs- und Energieforschung die Möglichkeit, die Herausforderungen alternativer Antriebe systematisch und gesamtheitlich zu erforschen.

Einleitung

Aktuell werden im Personennah- und Regionalverkehr auf nicht-elektrifizierten Strecken Dieseltriebzüge und mit abnehmender Tendenz auch lokbespannte Wagenzüge in Dieseltraktion eingesetzt. Im Güterverkehr werden im Werkverkehr, in der Einzelwagenzustellung auf der letzten Meile und im Rangierbetrieb mangels durchgehender Streckenelektrifizierung häufig Diesellokomotiven eingesetzt, während im Güterfernverkehr überwiegend elektrische Lokomotiven im Einsatz sind. Heute sind weltweit ca. 26%, in Europa ca. 51% des Schienennetzes elektrifiziert [1]. Im deutschen Regionalverkehr sind von 469 untersuchten dieselbetriebenen SPNV-Linien 57% zu weniger als 10% ihrer gesamten Linienlänge elektrifiziert, 18% weisen keinerlei Elektrifizierung auf [2]. Im Jahr 2016 wurden nach Angaben der Bundesarbeitsgemeinschaft Schienenper-

sonennahverkehr 240 Mio. Zug-km (36%) im deutschen SPNV durch dieselbetriebene Fahrzeuge zurückgelegt [3]. Vor diesem Hintergrund werden von Aufgabenträgern, Betreibern und Schienenfahrzeugherstellern verstärkt hybride Antriebe und Zweikraftantriebe zur Substitution von Dieselfahrzeugen diskutiert.

Hybride und Zweikraftantriebssysteme für Schienenfahrzeuge

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) untersucht und entwickelt alternative Antriebssysteme für Schienenfahrzeuge, sowohl eigenständig als auch in Kooperation mit Betreibern und Schienenfahrzeugherstellern [4]. Wir unterscheiden zwischen **Hybrid-Antriebssystem** und **Zweikraftantrieben**. Beide nutzen mindestens zwei unterschiedliche Energiequellen, wobei beim Hybridantrieb beide Energiequellen gleichzeitig betrieben werden können, während beim Zweikraftantrieb der Betrieb wahlweise mit der einen oder der anderen Energiequelle erfolgt. Ziele der Einführung von Hybrid- und Zweikraftantriebssystemen sind u.a.:

- Reduzierung des Energiebedarfs und der Energiekosten
- Rückgewinnung und Speicherung von Bremsenergie
- Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge (z.B. Boosterfunktion beim Anfahren)



Dipl.-Ing. Holger Dittus

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte – Abt. Fahrzeugenergiekonzepte, Gruppenleiter Energiemanagement und Evaluation

Holger.Dittus@dlr.de



Johannes Pagenkopf, M.Sc.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte – Abt. Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung, Gruppenleiter Schienenfahrzeuge

Johannes.Pagenkopf@dlr.de

- Lokal emissionsfreier Betrieb oder zumindest Verbesserung der Umwelteigenschaften (z.B. CO₂, Partikel/Feinstaub, Stickoxide)
- Erschließung neuer Nutzungspotentiale, z.B. elektrischer Betrieb in nicht-elektrifizierten Streckenabschnitten

Neben den alternativen Antriebssystemen kommt zur Reduktion von Schadstoff- und CO₂-Emissionen auch der Einsatz von alternativen Kraftstoffen (Erdgas, Biodiesel, Flüssiggas, synthetische Kraftstoffe, Wasserstoff, ...) in Betracht. Eine Übersicht zum bisherigen Einsatz in Schienenfahrzeugen findet sich z.B. in [5]. Antriebe mit alter-

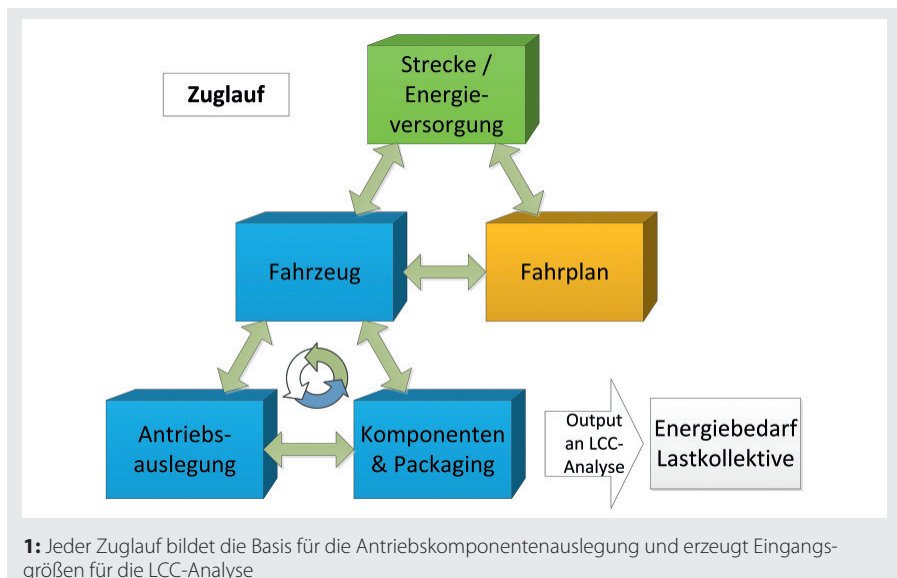
nativen Kraftstoffen können ebenfalls als Hybrid- oder Zweikraftantriebe aufgebaut werden, so dass sie im Folgenden nicht explizit betrachtet werden.

Während bei Dieseltriebzügen in der Vergangenheit meist die parallele oder serielle Hybridisierung durch die Kombination von Dieselantrieben mit elektrischen Antrieben und Energiespeichern untersucht und entwickelt wurde (vgl. [6]–[10]), ist in den letzten Jahren ein Trend weg von den dieselbasierten hin zu batterie- und brennstoffzellenbasierten rein elektrischen Antrieben sichtbar (Alstom Coradia iLint [4], Bombardier Talent 3 BEMU [11], Siemens Mireo [12], Stadler Rail WINK [13]). Bei Lokomotiven sind zwei Trends erkennbar [14], einerseits die Kombination von Oberleitungs- (OL) oder Dieselantrieb mit Batteriespeichern zum lokal emissionsfreien Betrieb über kurze, nicht-elektrifizierte Strecken, andererseits die Zweikraft-Kombination von OL- und dieselektrischem Antrieb. Letztere sind entweder als Dual-Mode-Antrieb aufgebaut, bei dem die Antriebsleistung im Dieselmotorbetrieb ähnlich groß wie im Elektrobetrieb ist oder sie nutzen einen „LastMile“-Dieselgenerator mit im Vergleich zum E-Antrieb deutlich geringerer Leistung. Mit den LastMile-Dieselantrieben kann zwar nicht gänzlich auf den emissionsbehafteten Dieselantrieb verzichtet werden, aber der bisher angewandte Einsatz von Diesellokomotiven unter Oberleitung zur Gewährleistung der Zustellung auf der nicht-elektrifizierten letzten Meile wird vermieden.

Systemauslegung und LCC-Bewertung von alternativen Antriebssystemen

Für die detaillierte Auslegung von Antriebssystemen und -komponenten (Dieselgenerator, Energiespeicher, Brennstoffzelle usw.) sowie die Entwicklung geeigneter Betriebsstrategien und Regelungskonzepte für hybride Antriebssysteme ist eine umfassende Betrachtung und Bewertung der Fahrzeuge von der betrieblichen Analyse bis hin zum Systems-Engineering abzudecken. Das betreiberspezifische Anforderungs- und Einsatzprofil ist dabei die maßgebliche Randbedingung.

Bei **konventionellen Antriebssystemen** für Fahrzeuge des Personenverkehrs erfolgt die Auslegung und Bewertung anhand der aus dem existierenden oder geplanten Zuglauf bekannten Strecken-, (Buch-)Fahrplan und Fahrzeugdaten (Bild 1). Zunächst wird ein Geschwindig-



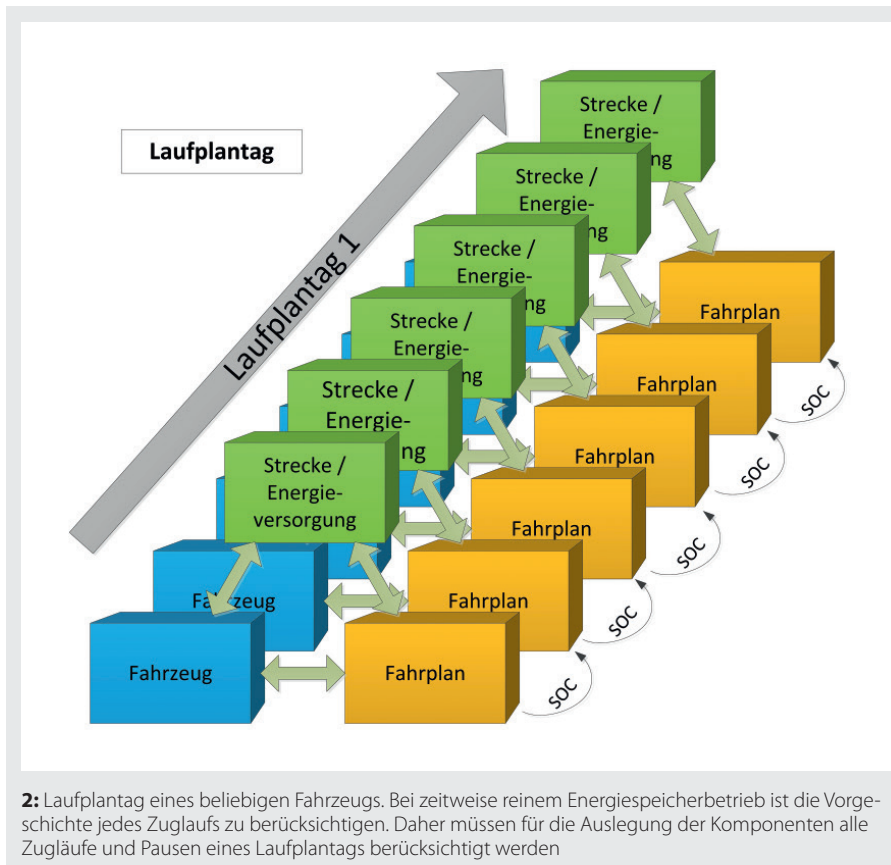
keits-Zeit-Profil ermittelt, mit dem der geforderte Fahrplan über die gesamte Strecke und in den einzelnen Abschnitten eingehalten werden kann. Die Vorgeschichte des betrachteten Zuglaufs ist dabei unerheblich. Für die Leistungsauslegung werden üblicherweise die worst-case Annahmen hinsichtlich Beladung zu Grunde gelegt, um die Einhaltung des Fahrplans in allen Fahrzeugzuständen gewährleisten zu können. Mit dem Geschwindigkeits-Zeit-Profil und dem daraus resultierenden Leistungs-Zeit-Profil am Rad werden das Leistungs-Zeit-Profil am Zwischenkreis (ZK) (bei elektrischer Antriebsarchitektur) berechnet und der Leistungsbedarf für Hilfsbetriebe und Komfortfunktionen (ebenfalls worst-case) hinzugerechnet. Ausgehend vom resultierenden Bedarfsleistungs-Zeit-Profil am ZK werden dann der Leistungs- und Energiebedarf an der primären Energiequelle, z.B. am Stromabnehmer, ermittelt und es erfolgt die Dimensionierung und Auswahl geeigneter Antriebskomponenten.

Konventionelle Antriebssysteme nutzen nur eine Energiequelle, somit ist die Auslegung aller Komponenten im Leistungspfad vergleichsweise einfach und kann für jeden Zuglauf mit wenigen Iterationen konkret ausdetailliert werden. Da ein typisches Einsatzprofil aus verschiedenen Zugläufen (Kombination von Strecken und Fahrplänen) besteht, wird der beschriebene Prozess zur Systemauslegung zunächst für jeden Zuglauf durchgeführt. Die endgültige System- und Komponentenauslegung orientiert sich dann am Zuglauf mit den größten Leistungsanforderungen; mit

dieser Auslegung sind grundsätzlich auch alle anderen Zugläufe erfüllbar. Die Investitionskosten für die Beschaffung der Fahrzeuge werden durch die gewählte Auslegung vorgegeben.

Für die ganzheitliche Betrachtung einer Fahrzeugflotte in einem ÖPNV-Netz werden die einzelnen Zugläufe mit der gewählten Komponentenauslegung erneut simuliert und die Komponenten-Lastkollektive und Energiebedarfe jedes Zuglaufs bestimmt. Ausgehend von den Lastkollektiven können Komponentenverschleiß und Austauschintervalle ermittelt und die zu erwartenden Wartungskosten prognostiziert werden. Zusätzlich zu berücksichtigen sind die Energiebedarfe in Stillstands- und Zustellzeiten. Wartungskosten und Energiebedarfe bilden einen Großteil der Eingangsgrößen für die LCC-Analyse der Fahrzeugflotte im betrachteten ÖPNV-Netz.

Bei **hybriden Antriebssystemen, bei denen zwei Energiequellen gleichzeitig** zum Einsatz kommen, besteht ein Freiheitsgrad in der Aufteilung des Leistungsbedarfs auf die vorhandenen Energiequellen. Diese Aufteilung muss durch eine geeignete Betriebsstrategie gesteuert werden. Hier ist die Herausforderung, eine zweckmäßige Kombination aus Komponentenauslegung und Betriebsstrategie zu entwickeln, mit der der Leistungsbedarf jederzeit gedeckt werden kann und zugleich ein möglichst geringer Aufwand an Komponenten getrieben wird. Weiterhin muss gewährleistet sein, dass die Antriebskomponenten stets innerhalb ihrer statischen und dynamischen Grenzen (z.B. Ladezustand Batterie, Leistungsänderungsrate Brennstoffzelle)



betrieben werden. In Bezug auf die Steuerung des Energiespeichers sind „charge depleting (CD)“- und die „charge sustaining (CS)“-Betriebsstrategien zu unterscheiden. CD führt zu einer fortlaufenden Entladung des Energiespeichers, während CS den Ladezustand durch entsprechende Nachladung über eine zweite Energiequelle innerhalb eines vorgegebenen Bereichs hält. In Straßenfahrzeugen wird für reine Batteriefahrzeuge (z. B. Tesla Model S) eine CD-Strategie eingesetzt, für Hybridfahrzeuge (z. B. Toyota Prius) eine CS-Strategie und für PlugIn-Hybride (z. B. Mitsubishi Outlander

PHEV) eine kombinierte Strategie, bei der im rein elektrischen Betrieb der Ladezustand sinkt (CD-Betrieb), und ab einer festgelegten Schwelle der Verbrennungsmotor zur Nachladung und Energiebereitstellung eingesetzt wird (CS-Betrieb). Für jeden Zuglauf kann eine andere Kombination von Betriebsstrategie und Komponentenauslegung optimal sein, wobei die Vorgeschichte des Zuglaufs wie beim konventionellen Antrieb – abgesehen vom Füllstand der fahrzeugseitigen Kraftstoffspeicher – weitgehend unerheblich ist. Diese Auswahl ist meist ein Kompromiss, mit dem sich alle

Zugläufe abdecken lassen und gleichzeitig ein insgesamt möglichst geringer Energiebedarf realisiert werden kann.

Bei hybriden Antriebssystemen und Zweikraftantrieben, mit denen der **Betrieb zeitweise ausschließlich aus dem Energiespeicher** erfolgt (z. B. OL-BEMU auf Abschnitten ohne Oberleitung), gilt das nicht. Der Energiespeicherladezustand (State of Charge, SOC) zum Ende eines Zuglaufs, ggf. zuzüglich einer möglichen Nachladung während der Pause, ist Anfangsbedingung für den nächsten Zuglauf. Jeder Zuglauf hat daher eine individuelle Vorgeschichte, selbst wenn stets die gleiche Linie befahren wird (Bild 2). Hier muss über einen Laufplantag durchgehend gewährleistet sein, dass der Energieinhalt des Speichers ausreicht, um den aktuellen Zuglauf, alle kommenden Zugläufe, sowie mögliche Störfälle zu erfüllen und dass während jedes Zuglaufs die zulässigen Grenzen des Ladezustands eingehalten werden. Im Ergebnis erfolgt der Übergang von der Analyse einzelner Zugläufe zur Betrachtung gesamter Laufplantage.

Für Lebensdaueranalysen von OL-BEMU-Fahrzeugen in einem SPNV-Netz, z. B. hinsichtlich Batteriealterung und LCC, ist es notwendig, den gesamten Umlaufplan mit allen Laufplantagen zu betrachten (Bild 3). Jeder einzelne Zuglauf und jede Pause bzw. Bereitstellung zwischen den Zugläufen haben Auswirkungen auf Energiedurchsatz und Ladezustand der Traktionsbatterien und tragen damit potentiell zu deren Alterung bei. In Bezug auf LCC werden Energiebedarf und Komponentenabnutzung jedes Zuglaufs den variablen Kosten zugeordnet. Insbesondere bei großen Umlaufplänen mit vielen Laufplantagen ist es von Vorteil, wenn alle Fahrzeuge identisch sind und jedes Fahrzeug dem gleichen rollierenden Umlauf folgt. Dann ist das Lastkollektiv aller Fahrzeuge der Flotte im Mittel gleich.



Maßnahmen zur Reichweitensteigerung von OL-BEMU

Die grundsätzliche Herausforderung von OL-BEMU ist die begrenzte Energiemenge, die zur Nutzung auf nicht elektrifizierten Abschnitten zur Verfügung steht. Diese führt offensichtlich zur Limitierung der Reichweite, die das Fahrzeug ohne externe Energiezuführung zurücklegen kann. Genauso wichtig ist die zeitliche Betrachtung. Unter der vereinfachten Annahme, dass die Energiespeicher zur Begrenzung der Alterung mit der gleichen mittleren Leistung geladen und entladen werden, folgt, dass ein Fahrzeug zu 50% der Einsatzdauer über eine externe Energiezuführung verfügen muss. Hebel zur besseren Einsetzbarkeit OL-BEMU ergeben sich unter anderem in den folgenden Bereichen:

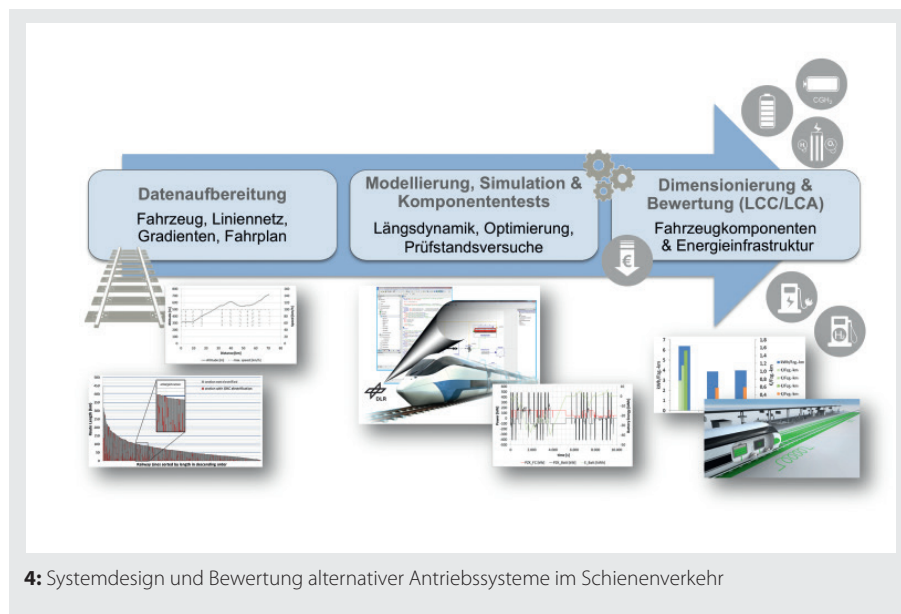
Fahrzeugstillstand: Der Energiebedarf der Hilfsbetriebe und Komfortfunktionen (hauptsächlich Heizen, Entfeuchten, Kühlen) ist vom Energiespeicher über die gesamte Dauer ohne externe Energieversorgung zu decken. Daher führen die Komfortfunktionen, insbesondere im Winter oder Hochsommer, dazu, dass die Reichweite auch dann sinkt, wenn das Fahrzeug stillsteht. Eine einfache Maßnahme zur Reichweitenoptimierung besteht daher darin, längere Stillstandsphasen dort zu absolvieren, wo eine externe Energiezuführung existiert oder – falls die Orte mit län-

gerem Stillstand festgelegt sind – lokal eine Nachelektrifizierung vorzunehmen.

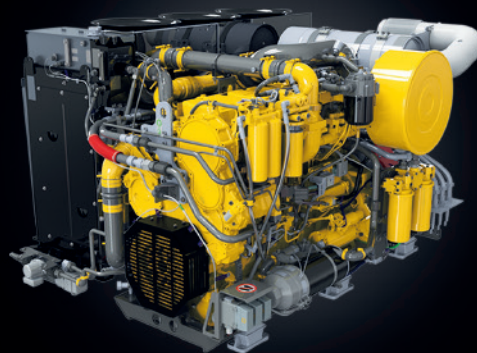
Komfortenergiebedarf: Der Bedarf an Komfortenergie hängt überwiegend von den Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, ...) ab und ist weitgehend unabhängig vom Fahrprofil. Er kann im Nah- und Regionalverkehr größer als der zur Erfüllung der Traktionsaufgabe sein [15]. Optimierungspotential besteht in der Reduzierung des worst case-Leistungsbedarfs, z. B. durch in diesen Betriebspunkten

energieeffizientere HVAC-Anlagen oder Abwärmenutzung. Die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Senkung des Komfortenergiebedarfs ist bei OL-BEMU wesentlich größer als bei konventionellen Fahrzeugen, da eine aufwändige Nachelektrifizierung bzw. die Installation zusätzlicher Ladepunkte reduziert oder ganz vermieden werden kann.

Fahrplan: Ein existierender Fahrplan, der auf die Leistungsfähigkeit der DMU ausgelegt ist, kann an die spezifischen Ei-



EU STUFE V CAT MOTOREN WIR SIND VORBEREITET!



Cat® Motoren und Abgassysteme in allen geltenden und kommenden Abgasstufen mit maßgeschneiderten Engineering- und Servicelösungen.

zeppelin-powersystems.com zps.achim@zeppelin.com

LET'S DO THE WORK.™

ZEPPELIN
Power Systems **CAT**

genschaften der OL-BEMU und der externen Energiezuführung angepasst werden. So besteht die Möglichkeit, durch strafferes Fahren unter Oberleitung eine Zeitreserve herauszufahren, die zur Verlängerung späterer Batterieladevorgänge an Ladepunkten genutzt werden kann. Im Ergebnis kann die Anpassung des bestehenden Fahrplans an ein für OL-BEMU optimiertes Zeitschema entscheidend dazu beitragen, dass OL-BEMU überhaupt auf bisher dieselbetriebenen Zugläufen zum Einsatz kommen können.

Fahrweise: OL-BEMU Fahrzeuge verfügen meist über eine größere spezifische Antriebsleistung als die zuvor eingesetzten dieselbetriebenen Fahrzeuge – zumindest auf den elektrifizierten Streckenabschnitten. Fahrprofile in OL-freien Abschnitten können so optimiert werden, dass der Traktionsenergiebedarf möglichst klein ist, z. B. durch leistungsgesteuertes elektrodynamisches Bremsen statt Bremsen mit konstanter Bremskraft oder -verzögerung.

Nachelektrifizierung: In größeren Netzen, die bisher mit DMU befahren wur-

den, besteht häufig der Bedarf an Nachelektrifizierung einzelner Abschnitte oder von Bahnhöfen, wenn OL-BEMU eingesetzt werden sollen. Hier ist es für eine möglichst kostengünstige Umsetzung notwendig, die entsprechenden Abschnitte durch eine Analyse des gesamten Umlaufplans mit allen Zugläufen zu identifizieren und eine ganzheitliche Optimierung unter Berücksichtigung von fahrzeug- und infrastrukturseitigen Kosten durchzuführen.

Linienzuschnitt: Besteht in einem gegebenen Netz die Möglichkeit, existierende Linien zu modifizieren und ggf. neue, hinsichtlich der bereits verfügbaren externen Energiezuführung optimierte Linien zu generieren, sollte dies genutzt werden, um die Investitionen in zusätzliche Nachelektrifizierung und Ladepunkte zu reduzieren.

Weiterentwicklung des Forschungsfelds alternative Antriebe

Das DLR bietet durch seine Verkehrs- und Energieforschung die Möglichkeit, die Herausforderungen alternativer Antriebe systematisch und gesamtheitlich zu er-

forschen. Von der Komponentencharakterisierung und Alterungsbestimmung von Batterien und Brennstoffzellen über die Auslegung und LCC-Bewertung von alternativen Antriebssystemen für Schienenfahrzeuge bis hin zur Fahrzeug-Energiezuführung deckt das DLR die gesamte Bandbreite der notwendigen Kompetenzen ab (Bild 4).

Schwerpunkte unserer aktuellen und zukünftigen Arbeiten im Forschungsfeld alternative Antriebssysteme liegen darin, in Zusammenarbeit mit Industrie, Forschung, Betreibern und Aufgabenträgern einerseits die komplexen Wechselwirkungen zwischen Fahrzeug, Infrastruktur und Betrieb in SPNV-Netzen abzubilden und zu optimieren. Andererseits wird die vorhandene Expertise zu Lebensdauer und Alterung der kostentreibenden Komponenten Batterie und Brennstoffzelle weiter ausgebaut, um die Grundlagen für Systemauslegung und fundierte LCC-Bewertung zu stärken. •

 [www.eurailpress.de/archiv/Hybride Antriebe/](http://www.eurailpress.de/archiv/Hybride%20Antriebe/)

Literatur

- [1] International Union of Railways – UIC (2013). Railway Statistics – Synopsis 2013. <http://old.uic.org/spip.php?article3299> [downloaded on 2016-02-19].
- [2] Pagenkopf, J.; Böhm, M.; Haas, J. L.; Friedrich, H.: Analysis of German diesel operated regional railway lines' patterns with regard to the application of battery and fuel cell electric trains. in The Fourth International Conference on Railway Technology, Sitges, Spanien, 3.-7. September 2018.
- [3] Bundesarbeitsgemeinschaft Schienenpersonennahverkehr: Dossier Verteilung der Traktionsart im SPNV 2016, <https://bag-spnv.de/files/bagspnv/downloads/Dossier%20Verteilung%20Traktion%20BL%20final.pdf> [downloaded on 2019-01-16].
- [4] Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, NOW GmbH BetHy: Brennstoffzellenbetriebener Hybridtriebzug, Pressemitteilung, <https://www.now-gmbh.de/de/bundesfoerderung-wasserstoff-und-brennstoffzelle/projektfinder/verkehr/weitere-bethy/>; [downloaded on 2018-12-27].
- [5] Hoffmann, Marcus; Böhm, Mathias; Dittus, Holger: Alternative Kraftstoffe in Schienenfahrzeugen – Eine Betrachtung von Forschungsprojekten der vergangenen 20 Jahre. In: ZEVrail – Zeitschrift für das gesamte System Bahn 03 (2017), Nr. 141, S. 91 – 97.
- [6] Dittus, Holger und Hülsebusch, Dirk und Ungethüm, Jörg (2011) Reducing DMU fuel consumption by means of hybrid energy storage. European Transport Research Review. Springer. DOI: 10.1007/s12544-011-0053-6. ISSN 1867-0717.
- [7] Dittus, Holger und Hülsebusch, Dirk und Ungethüm, Jörg (2010) Local Emission Prevention and Reduced

- Fuel Consumption of DMUs by means of Hybrid Energy Storage; Vieweg + Teubner Verlag. 10. Stuttgarter Symposium Fahrzeug- und Motorentechnik, 16.-17. März 2010, Stuttgart, Deutschland. ISBN 9783834813015.
- [8] Behrens, R.: Weltpremiere des MTU Hybrid-Power-Packs, MTUreport, 20.09.2016 <https://www.mtu-report.com/de-de/Bahn/Weltpremiere-des-MTU-Hybrid-PowerPacks/>; [downloaded on 2018-12-27].
- [9] Söffker, Carsten: „Einsatz eines Rotationsenergiespeichers in einem dieselelektrischen Triebzug“, in: Konstruktion/Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe, Bd. 57, H. 5, 2005, S. 28 – 30.
- [10] Kache, Martin: Diesel-Hybrid-Triebwagen in: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 12/2014, S. 50 – 53.
- [11] Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, NOW GmbH: BEMU – Batterie-triebzug für nicht- oder nur teilelektrifizierte Strecken des Schienen-personennahverkehrs (SPNV); <https://www.now-gmbh.de/de/bundesfoerderung-elektromobilitaet-vor-ort/projektfinder/elektromobilitaet-vor-ort/bemu/> [downloaded on 2018-12-27].
- [12] Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, NOW GmbH: Siemens erhält Förderzusage für Entwicklung von Brennstoffzellenantrieb für Züge, Pressemitteilung vom 28.02.2018, <https://www.now-gmbh.de/de/aktuelles/presse/siemens-erhaelt-foerderzusage-fuer-entwicklung-von-brennstoffzellenantrieb-fuer-zuege/> [downloaded on 2018-12-27].
- [13] Wikipedia: Stadler WINK, https://de.wikipedia.org/wiki/Stadler_Wink/; [downloaded on 2018-12-27].

- [14] Scheier, B., Dittus, H., Böhm, M. und Meirich, C.: Stand der Technik von Antriebskonzepten für Rangier- und Streckenlokomotiven, in: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau Nr.12, 12/2018, S. 51 – 56.
- [15] Windemut, Ivan und Dittus, Holger und Winter, Joachim (2018) Einfluss der Bordnetzverbraucher auf die Reichweite von batterieelektrischen Triebzügen (BEMU) – Modellbasierte Analyse – Elektrische Fahrzeugantriebe und -ausrüstungen, 29.-30. Nov. 2018, Dresden, Deutschland.

Summary

System design and optimization potential of hybrid drives in public transport vehicles

The present article describes the challenges in system design which may occur when shifting diesel engines to the latest hybrid driving concepts. Here, referring to the joint project OL-BEMU, the differences between the applied design methods of the DLR (German Aerospace Center) and the conventional vehicles are discussed as well as the potentials for extending the range.